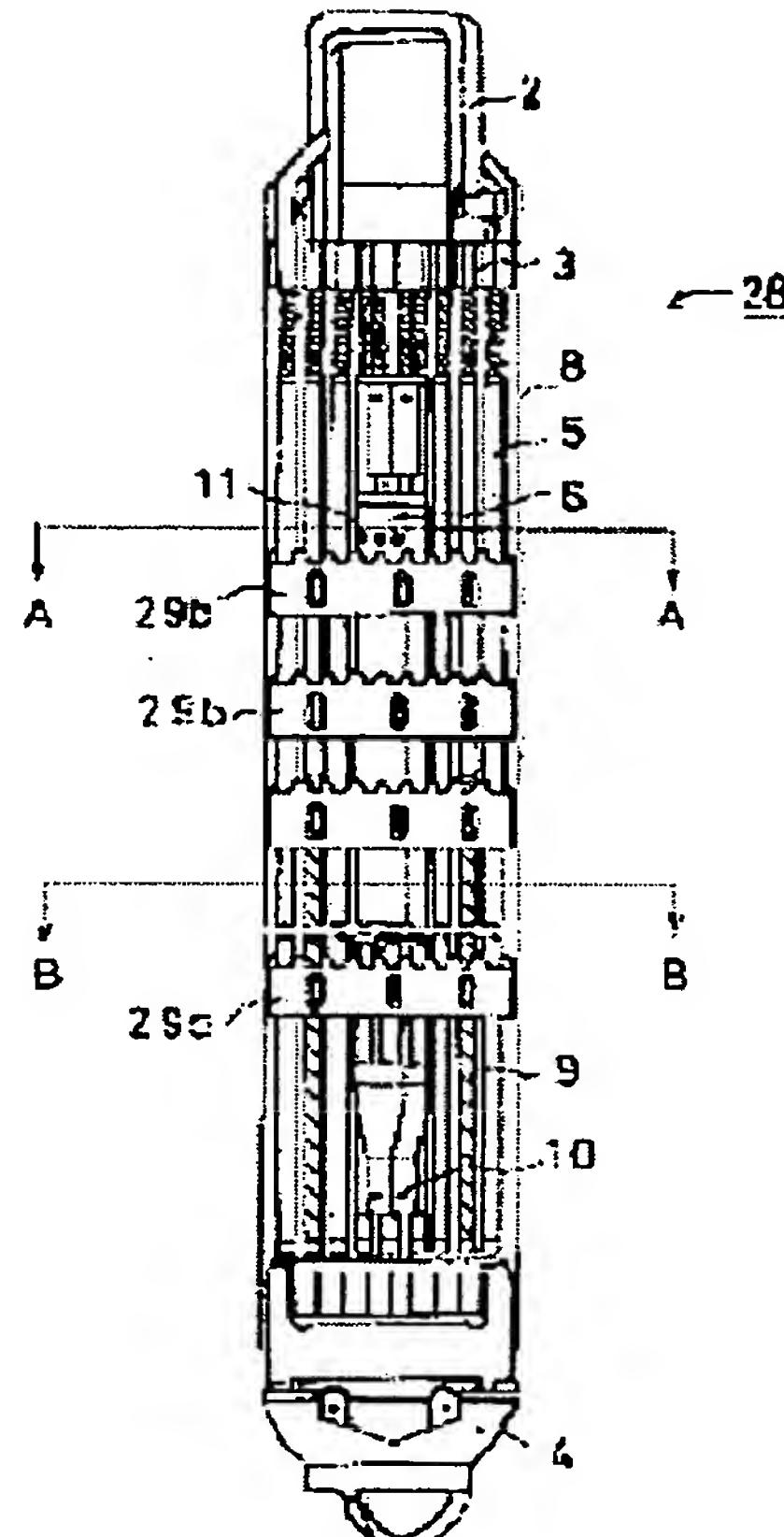


FUEL SPACER

Patentnummer: JP6148370
Publiceringsdag: 1994-05-27
Uppfinnare: HIRUKAWA ATSUJI
Sökande: TOKYO SHIBAURA ELECTRIC CO
Klasser:
 -internationell: G21C3/344; G21C3/34; (IPC1-7): G21C3/344
 -europeisk:
Ansökningsnummer: JP19920295175 19921104
Prioritetsnummer: JP19920295175 19921104

[Report a data error here](#)
Sammandrag från JP6148370

PURPOSE: To perform outside chamfering of the end part of a ferrule existing in a flow channel of a coolant, control pressure loss reduction and transition boiling easy of producing at the upstream side of a fuel spacer and provide the fuel spacer improving critical output. **CONSTITUTION:** The inside and outside of a tube-like ferrule 30 inserting fuel rods 5, 9 in a fuel assembly 28 of a nuclear reactor bundling a plurality of the fuel rods 5, 9 are regarded as a flow channel of a coolant and each fuel rod 5, 9 is concentrically held with an inward projection 14 and continuous loop springs 16, 35. Characterization is performed in that a chamfer 32 is formed in the outside of at least the lower end part (on the upstream side of coolant) of the tube-like ferrule 30 in regard to fuel spacers 29a, 29b connected at a lateral position be mutually welding the ferrules 30, a spring and a circumferential support band 13.



Data från esp@cenet databasen - Worldwide

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-148370

(43)公開日 平成6年(1994)5月27日

(51)Int.Cl.⁵

G 21 C 3/344

識別記号

庁内整理番号

7156-2G

F I

技術表示箇所

G 21 C 3/34

G D B R

審査請求 未請求 請求項の数1(全9頁)

(21)出願番号 特願平4-295175

(22)出願日 平成4年(1992)11月4日

(71)出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72)発明者 蝶川 厚治

神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地 株

式会社東芝横浜事業所内

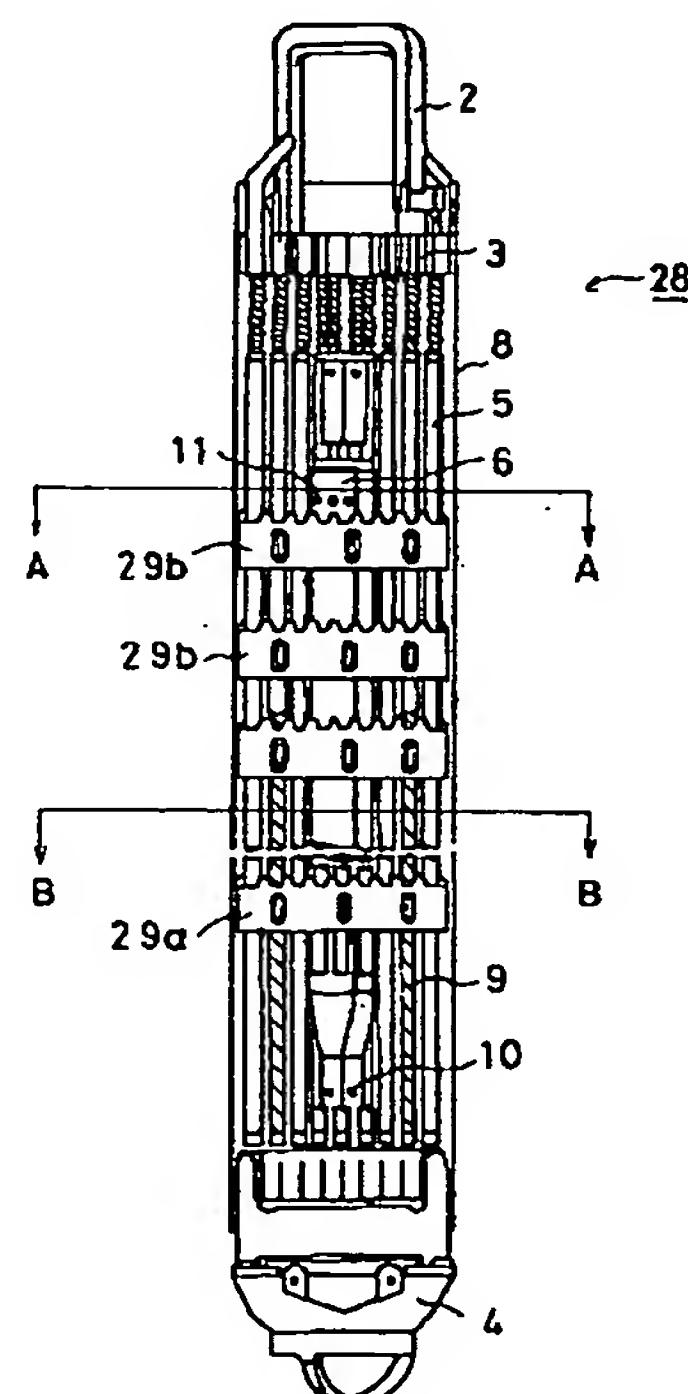
(74)代理人 弁理士 猪股 祥晃

(54)【発明の名称】 燃料スペーサ

(57)【要約】

【目的】冷却材の流路に介在するフェルールの端部に外側チャンファ加工をして、圧損低減と燃料スペーサ上流側で発生し易い遷移沸騰を抑制し、限界出力が向上する燃料スペーサを提供する。

【構成】複数本の燃料棒5, 9を束ねた原子炉の燃料集合体28中で前記燃料棒5, 9を挿通した各管状フェルール30の内外側を冷却材の通路として内方の突起14および連続ループバネ16, 35により各燃料棒5, 9を同心円状に保持すると共に、このフェルール30相互を溶接とバネおよび周辺支持バンド13で横方向位置に連結した燃料スペーサ29a, 29bにおいて、前記管状フェルール30の少なくとも下端部(冷却材流路上流側)の外側にチャンファ32を形成したことを特徴とする。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 複数本の燃料棒を束ねた原子炉の燃料集合体中で前記燃料棒を挿通した各フェルールの内外側を冷却材の通路として内方の突起およびバネにより各燃料棒を同心円状に保持すると共に、このフェルール相互を溶接とバネおよび周辺支持バンドで横方向位置に連結した燃料スペーサにおいて、前記フェルールの少なくとも下端部（冷却材流路上流側）の外側にチャンファを形成したことを特徴とする燃料スペーサ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、原子炉の燃料集合体に用いる燃料スペーサに係り、特に独立セル型燃料スペーサに関する。

【0002】

【従来の技術】 従来、沸騰水型原子炉に用いられる燃料集合体の燃料スペーサとしては、特開昭59-65287号公報の第2A図に示す構造が提案されている。この燃料スペーサは、内部に燃料棒が挿入される多数の管状フェルールを格子状に配列し、隣接する相互の管状フェルールを溶接にて結合して構成したものである。なお、燃料棒と同様にウォーターロッドも管状フェルール内に挿入されている。

【0003】 従来の燃料スペーサを図13乃至図17に基づいて説明する。図13は沸騰水型原子炉に使用する燃料集合体の縦断面図で、この燃料集合体1はハンドル2を有する上部タイプレート3と、下部タイプレート4および両端部が上部タイプレート3と下部タイプレート4とに支持された多数の燃料棒5と、この燃料棒5の間に配置されたウォーターロッド6、および軸方向に複数個配置された燃料スペーサ7a, 7bとチャンネルボックス8から形成されている。

【0004】 また燃料スペーサ7a, 7bは、燃料棒5およびウォーターロッド6の相互の水平方向間隔を一定に保持し、さらにチャンネルボックス8が燃料スペーサ7a, 7bによって束ねられた燃料棒5およびウォーターロッド6の束を取り囲んでいる。なお、チャンネルボックス8は上部タイプレート3に取り付けられる。燃料棒の一部は短尺燃料棒9で、その下端部のみを下部タイプレート4に保持されていて、ウォーターロッド6の下端部に冷却材流入口10が設けられ、上端部には冷却材出口11が設けられている。

【0005】 燃料スペーサ7aは、図14(b)の図13におけるB-B矢視断面図に示すように、燃料棒5および短尺燃料棒9と同数の管状フェルール12を格子状に配列して、管状フェルール12の束の外周を帯状の周辺支持バンド13にて取り囲んだものである。

【0006】 また燃料スペーサ7bは、図14(a)で図13のA-A矢視断面図に示すように、燃料棒5と同数の管状フェルール12を格子状に配列し、外周を帯状の周辺

支持バンド13で取り囲んだもので、いずれも格子状に配列された管状フェルール12は、隣接している管状フェルール12同士が点溶接にて接合されている。

【0007】 管状フェルール12は図15の拡大斜視図に示すように、管状フェルール12の両端または近傍には、特公昭63-48031号公報の第7図、または特開昭59-65287号公報の第3A図および第3B図に開示されているような突起が夫々2個設けられている。これらの突起14は管状フェルール12の一部を内側に突出させたものである。

10 【0008】 隣接する管状フェルール12の端は点溶接15（図15中黒点で示す）にて溶接されている。また図14(a), (b)に示すように隣接している2個の管状フェルール12に跨って連続ループバネ16が設置されており、この連続ループバネ16の形状は、特開昭59-65287号公報の第4図に開示されているものと同様であって、高さ方向の中央部が外側に突出している。

【0009】 さらに、連続ループバネ16を取り付ける部分は、特開昭62-287184号公報の第1図および第2図に開示されているように、図15に示す管状フェルール12の円筒側面部の1ヶ所に縦方向に矩形の切り欠き部17を設け、この切り欠き部17の一端または上下端近傍（図15では切り欠き部17の上下部）に爪部18を突設した形状としている。

【0010】 また隣接する管状フェルール12における、同じ切り欠き部17を相対または軸方向に逆転させて突き合わせ、これらの爪部18に燃料棒押圧用の連続ループバネ16を保持させる。この結果、管状フェルール12は格子状に組立てられる。なお、ウォーターロッド6が管状フェルール12の内径よりも太径の場合の燃料スペーサ7a, 7bの開発が行われており、この例としては、特開昭61-198096号公報の第1図に開示されたものが提案されている。

【0011】 従来の管状フェルール12を格子状に配列した燃料スペーサ7a, 7bは燃料棒5の挿入性を容易にすることと、上下端を隣接する管状フェルール12同士で点溶接し易いように端面の内側にチャンファを加工している。

【0012】

【発明が解決しようとする課題】 近年、燃料集合体1の遷移沸騰発生と燃料スペーサ7a, 7bの形状との関係のメカニズム解明が進み、燃料集合体1の出力が限界出力に近づくと軸方向に複数個（現在7個乃至8個）配置された燃料スペーサ7a, 7bの上方から2個目乃至1個目の下端側近傍（下端より上流側5~6mm）で遷移沸騰が生じ易いことが分かっている。

【0013】 さらに、遷移沸騰が生じている燃料棒表面の周方向位置は、図16の流路要部拡大断面図に示すように、4本の燃料棒5で囲まれる流路19の中心に面する部分（図16において、45°方向の燃料棒表面部位）であることが分かっている。また燃料スペーサは、2相流を攪

押すことによって燃料スペーサ下流側の燃料棒5の表面に冷却材の液滴を付着させて液膜を厚くする働きをするが、燃料スペーサの上流側では燃料棒5の表面に沿つて流れる液膜を2相流の流れの乱れの結果、薄くして遷移沸騰を生じ易くする影響も与える。

【0014】また図16に4本の燃料棒5で囲まれた流路19における2相流の流速分布を等高線で示す。この等高線の添え字1~6で示した数字の小さいほど流速が大きいことを示す。流速分布は燃料棒表面の0°, 90°部位では遅く、45°部位20では速いことが分かる。実験による遷移沸騰を生じ易い燃料スペーサ下端近傍の燃料棒表面の液膜厚さ測定結果も、この45°部位20で液膜が薄くなる傾向を示している。

【0015】これらの結果から、燃料スペーサ7a, 7b通過前後の冷却材の2相流（環状流状態を呈している）状態を考察すると、図17の燃料棒間の流路説明図に示すような流れ状態が考察される。すなわち、図17(a)に示す燃料棒表面の0°, 90°部位（直角方向）では、燃料棒5, 5間の冷却材の流路19の中央において、管状フェルール12, 12が先端が共に内側にチャンファ21を有する平板状の障害として存在し、この外形に沿って滑らかに冷却材の流線が曲がって、管状フェルール12の内側と燃料棒5の表面の間の環状流路22に流入する。

【0016】この時、この部位の流速は比較的に遅いので、液膜23の流も厚く、環状流路22に流入する時に加速されて、かつ流線が燃料棒5の表面に近づくことによる液膜23の厚さの低減は小さい。これに対して図17(b)に示す45°部位（対角方向）では、燃料棒5, 5間の冷却材の流路19の両側で管状フェルール12が先端が片側にチャンファ21を有する平板状の障害として存在する。従って、この外形に沿って滑らかに流線が曲がって管状フェルール12の内側と燃料棒5の表面の間の環状流路22に流入する流線と、管状フェルール12の外側に沿って流れれる流れに分かれる。

【0017】ところが、この外側流路24では流速が速いため、燃料棒5表面の境界層も薄い流れの状態を呈し、燃料棒5表面と管状フェルール12内側との環状流路22においては、0°, 90°部位（直角方向）におけるよりも高速の蒸気流を狭い環状流路22に誘導することになる。この結果、管状フェルール12の上流側25では元々液膜23の流の厚さが薄いところへ、この高速流の加速効果および流線が燃料棒5の表面に近づくことにより、液膜23の厚さの低減度合いが、図15(a)に示す直角方向部位より大きくなる。

【0018】この結果から従来遷移沸騰を生じる場合は、燃料スペーサ7a, 7bの管状フェルール12下端近傍の対角方向部位であると考えられる。また燃料スペーサ7a, 7b通過後においては、燃料スペーサ7a, 7bの管状フェルール12の表面に沿った境界層の流れが剥

離して乱流を生じるため、環状流における蒸気相の中の液滴26が流れの乱れにより、燃料棒5の表面に付着する。

【0019】さらに、燃料棒5表面近傍の流速が拡大流となり、流速が低下復帰することにより管状フェルール12の下流側27における液膜23の流れの厚さは、管状フェルール12通過前よりも厚くなる。これが燃料スペーサ7a, 7bによる限界出力の向上効果である。なお、図17(a), (b)において、一点鎖線の左側は2相流を矢印で、右側は2相流を断面で表している。

【0020】本発明の目的とするところは、冷却材の流路に介在するフェルールの端部に外側チャンファ加工をして、圧損低減と燃料スペーサ上流側で発生し易い遷移沸騰を抑制し、限界出力が向上する燃料スペーサを提供することにある。

【0021】

【課題を解決するための手段】複数本の燃料棒を束ねた原子炉の燃料集合体中で前記燃料棒を挿通した各フェルールの内外側を冷却材の通路として内方の突起とバネにより各燃料棒を同心円状に保持すると共に、このフェルール相互を溶接とバネおよび周辺支持バンドで横方向位置に連結した燃料スペーサにおいて、前記フェルールの少なくとも下端部（冷却材流路上流側）の外側にチャンファを形成したことを特徴とする。

【0022】

【作用】燃料集合体中に流れる冷却材の流路は、燃料棒間の直角方向と対角方向とで間隔が異なり、特に燃料棒を保持する燃料スペーサ位置においては、直角方向では燃料棒表面とフェルール内側間の環状流路を、また対角方向では環状流路と隣接するフェルール外側間の外側流路が形成される。

【0023】特に対角方向の環状流路においては、燃料棒表面近傍の流速が速い冷却材の流れをフェルールの下端部（冷却材流路上流側）に形成した外側のチャンファにより外側流路に誘導して、フェルール内側と燃料棒表面とで形成する狭い環状流路に取り込まないで、外側流路を圧縮流の形で流すので、燃料棒表面近傍における流線が燃料棒表面に近づかないことと、流れが圧縮されず加速度合意が小さいので液膜流の厚さ低下が緩和される。これにより、遷移沸騰の発生が抑制されて燃料集合体の限界出力が向上する。

【0024】

【実施例】本発明一実施例を図面を参照して説明する。なお、上記した従来技術と同じ構成部分には同一符号を付して詳細な説明を省略する。図1の縦断面図に示すように、沸騰水型原子炉に使用する燃料集合体28は、ハンドル2を有する上部タイプレート3と下部タイプレート4、および両端部が上部タイプレート3と下部タイプレート4とに支持された、多数の燃料棒5と短尺燃料棒9の間に配置されたウォーターロッド6、さらに軸方向に

複数個配置された燃料スペーサ29a, 29bとから形成されている。

【0025】燃料棒5, 9およびウォーターロッド6は、燃料スペーサ29a, 29bにより相互の水平方向間隔を一定に保持されている。さらに、チャンネルボックス8が、燃料スペーサ29a, 29bによって束ねられた燃料棒5, 9とウォーターロッド6を取り囲んで、上部タイプレート3に取り付けられている。

【0026】燃料棒の一部は短尺燃料棒9で、その下端部のみを下部タイプレート4に保持させても良い。同様にウォーターロッド6も、その下端部のみを下部タイプレート4に保持させても良く、またチャンネルボックス8は上部タイプレート3の代わりに下部タイプレート4に取り付けられても良い。さらに、ウォーターロッド6の下端部には冷却材流入口10が設けられ、上端部に冷却材流出口11が設けられている。

【0027】燃料スペーサ29bは、図2(a)の断面図で図1におけるA-A矢視断面図に示すように、燃料棒5と同数の管状フェルール30を格子状に配列し、この管状フェルール30の束を連続ループバネ16と、外周を帯状の周辺支持バンド13にて取り囲んだものである。また燃料スペーサ29bは、図2(b)の断面図で、図1におけるB-B矢視断面図に示すように、燃料棒5および单尺燃料棒9と同数の管状フェルール30を格子状に配列し、この管状フェルール30の束を連続ループバネ16と、外周を帯状の周辺支持バンド13にて取り囲んだものである。

【0028】また格子状に配列された図3の拡大斜視図で示す管状フェルール30は、隣接している管状フェルール30同士を点溶接31(黒点で示す)にて溶接している。管状フェルール30の上下端には内側に突起14が夫々2個設けている。これらの突起14は、管状フェルール30の一部を内側に突出させたものである。

【0029】管状フェルール30の下端面(冷却材流路上流側)は、隣接する管状フェルール30と点溶接31する部位近傍を除いて外側に大きいチャンファ32を加工を施す。なお、端面が鋭角になる方がより本発明上都合が良い。また上端面(下流側端面)は燃料棒組立の容易性の観点から内側に若干のチャンファ加工をする。しかし圧損低減の観点からは大きいチャンファの方が都合が良いが、境界層剥離による流れの乱れを大きくして燃料棒5, 9の表面への液滴26の付着を増進する観点からは、この部分のチャンファ量は小さい方が良い。

【0030】多数の管状フェルール30は格子状に配列して、図2に示すように組み合わせる。この時に、上下端は夫々下流側と、上流側の区別を持って揃えられる。また燃料スペーサ29a, 29bは図4の一部切断正面図で示すように、隣接している管状フェルール30に跨って連続ループバネ16が設置されている。この連続ループバネ16の形状は、高さ方向の中央部が外側に突出している。

【0031】連続ループバネ16を取り付ける部分は、図

3に示すように管状フェルール30の円筒部側面に縦方向に矩形の切り欠き部17を設け、この切り欠き部17の上下端近傍に爪部18を突設した形状とし、隣接する管状フェルール30の同じ切り欠き部17と相対するように突き合わせ、これら上下の爪部18に燃料棒押圧用の連続ループバネ16を保持させる。さらに周囲は周辺支持バンド13で囲み、この結果、管状フェルール30は図5(a)の要部拡大一部切断正面図および図5(b)の要部拡大横断面図に示すように格子状に組込まれて燃料棒5を保持している。

【0032】燃料スペーサ29a, 29bの中央部の構造は図6の要部拡大平面図に示すように、中央部の7個の管状フェルール30が取り除かれた状態で形成された孔部33、すなわち、中央部の10個の管状フェルール30の側壁で取り囲まれた細長い孔部33が形成されている。4個の架橋部材34a, 34bが図2および図6に示すように孔部33内で燃料スペーサ29a, 29bの対角線に直交する方向に配置されている。

【0033】架橋部材34aの左右の両端部は、燃料スペーサ29a, 29bの中央部の孔部33を形成している10個の管状フェルール30のうち、細長い孔部の両端を構成している隣接の2個の管状フェルール30の側面に点溶接31にて夫々取り付けられている。

【0034】架橋部材34aは上下2枚の部材からなり、上部端または下端に凹部を有し、この部分に連続ループバネ35を装着の上、溶接して一枚の架橋部材34aとして、管状フェルール30の上下端部に架橋部材34aの左右端部を上下端で点溶接する。また架橋部材34bは細長い孔部33の腹部の管状フェルール30を3個結合しつつ、燃料スペーサ29a, 29bの対角線方向に突出した曲り部36を形成し、この曲り部36の隅でウォーターロッド6を支える。

【0035】さらに架橋部材34bは、管状フェルール30の側壁と同じ曲率で左右の端部、および曲り部36の根元が成型されていて、この部分で隣接する管状フェルール30と上下端が点溶接される。ウォーターロッド6は、図2、図6に示すように孔部33内に挿入されており、架橋部材34aに設けられた連続ループバネ35にて架橋部材34bの曲り部36で押圧されている。

【0036】上記図2(a)に示す燃料スペーサ29bは、燃料集合体28の上部に取り付けられる燃料スペーサで、短尺燃料棒9の位置の管状フェルール30が削除されて空所になっている。

【0037】こうして構成された管状フェルール30の配列の内、図4で示すように燃料スペーサ29a, 29bの周辺の管状フェルール30に周辺支持バンド13が固定される。この周辺支持バンド13には、燃料棒5同士の中間位置に、少なくとも内向きに湾曲した上向き(冷却材流路の下流側へ向いた)の複数の突起板37が設けられている。

【0038】また周辺支持バンド13の4隅近くには、一対の外向きに周辺支持バンド13の部材を突出させたロープ38が形成されていて、このロープ38により燃料スペーサ29a, 29bを取り囲むチャンネルボックス8との間に一定の間隔を持たせるようにして構成されている。

【0039】次に上記構成による作用について説明する。原子炉の冷却材は、炉心の下方から炉心内に装荷された燃料集合体28内を上昇する。すなわち、冷却材は下方より下部タイプレート4内に流入し、さらにチャンネルボックス8内で燃料棒5, 9間に形成された流路19を上昇して、上部タイプレート3より上部プレナムに流出する。またチャンネルボックス8内に流入した冷却材の一部は、冷却材流入口10よりウォーターロッド6内に供給され、ウォーターロッド6内を上昇して冷却材出口11よりウォーターロッド6外部に流出する。

【0040】ウォーターロッド6は、燃料集合体28の横断面中央部の冷却材の割合を高めることになり、その中央部における中性子の減速作用を増加させる働きを有する。このため、燃料集合体28の横断面中央部の反応度が高くなると共に、横断面における出力分布の平坦化がされる。

【0041】ところで、チャンネルボックス8内を流れる冷却材は軸方向に上昇するにつれ、燃料棒5, 9を除熱し、サブクール状態から飽和温度までの昇温加熱され、さらに飽和水の沸騰を生じている。従って、理想的には冷却材のうち、液相(飽和水)は燃料棒5, 9の表面付近を流れ、気相(蒸気)は燃料棒間の空間を流れることが最も除熱効率が良いことになる。

【0042】一方、実際の燃料集合体冷却材流動様式を見ると、ボイド率が高く除熱上余裕の少ない燃料集合体上半部領域では、環状流と呼ばれる気液2相流動状態となっている。この流動状態では、図7の要部拡大模式図に示すように、燃料棒5, 9間の空間の流路19でボイド率が高くなり、その中を液滴26が混じって流れ、燃料棒5の表面は液膜23が覆っている。この液膜23の沸騰により燃料棒5の除熱が行われている。

【0043】本発明における燃料スペーサ29a, 29b通過前後の冷却材の2相流(環状流状態を呈している)状態を考察すると、図8(a)および(b)の燃料棒間の流路説明図に示すような流れ状態が考察される。

【0044】すなわち、図8(a)に示す燃料棒の0°, 90°部位(直角方向)では、燃料棒5, 9間の冷却材の流路19において、管状フェルール30の先端部が共に両側にチャンファ32を有する平板状の障害として存在し、この外形に沿って滑らかに流線が曲がって管状フェルール30の内側と燃料棒5表面の間の環状流路22に2相流は流入する。

【0045】この時、この部位の流速は比較的に遅いので、液膜23の流れも厚く、環状流路22に流入する時に、加速されて、かつ流線が燃料棒5表面に近づくことによ

つて液膜23の厚さの低減は小さい。これに対し図8(b)に示す45°部位(対角方向)では、燃料棒5, 9間の冷却材の流路19の両側において管状フェルール30による先端が片側で外側にチャンファ32を有する平板状の障害が存在することになる。

【0046】従って、この外形に沿って滑らかに流線が曲がって、管状フェルール30の内側と燃料棒5表面の間の環状流路22に流入する流れと、管状フェルール30の外側に沿った外側流路24に流れる流れに分かれる。なお、図8(a), (b)において一点鎖線の左側は2相流を矢印で、右側は断面で示している。

【0047】しかしながら本発明では、この外側流路24では管状フェルール30の上流側端部のチャンファ32は外側に形成してあるので、流速が速い流れの取り込み誘導が少なく、圧縮加速流は管状フェルール30の外側領域の外側流路24で生じる。その結果、燃料棒5表面と管状フェルール30内側との環状流路22においては、高速流の加速効果が従来より小さく、また流線は燃料棒5の表面に近づく度合が小さいので、液膜23の厚さの低減度合が従来より小さくなり、この結果が限界出力の向上に寄与する。

【0048】なお、燃料スペーサ29a, 29bを通過した直後においては、燃料スペーサ29a, 29bの管状フェルール30表面に沿った境界層の流れが剥離して乱流が生じるため、環状における蒸気相の中の液滴26が流れの乱れにより、燃料棒表面に付着することと、燃料棒表面近傍の流速が拡大流となり、流速が低下復帰することにより液膜23の流れの厚さは燃料スペーサ通過前よりも厚くなる。この効果は従来の燃料スペーサによる限界出力の向上効果と同様に期待できる。

【0049】このため本発明によれば、管状フェルール30は流体の流れ方向に対する小さい形状変更と圧損の増加なしで、燃料集合体28の限界出力の向上に寄与する。

【0050】次に本発明の変形例について説明する。上記一実施例では管状フェルール30の下端部(上流側端)は水平の切り口としているが、図9の拡大斜視図に示す管状フェルール39においては、さらに内側への突起14の設けられていない対角方向部位でV字型の切込み40を加工して、その部分に外側のチャンファ32を形成する。なお、V字型の切込みの深さは5~8mmとする。

【0051】これにより、燃料棒5の燃料スペーサ下端近傍の上流側25の周方向を見ると、対角方向の燃料棒表面の流れの一番速い部分の流れは燃料スペーサ29a, 29bの軸方向の内部で燃料棒5の表面に向けて流線が曲がることとなる。沸騰水原子炉の運転状況においては、燃料スペーサ29a, 29bの下端近傍で遷移沸騰が発生するのは燃料スペーサ下端から約5~6mmということが実験結果から判明している。

【0052】従って、前述の燃料棒表面の液膜23の流れの厚さ低減を軸方向で、これだけ遅らせることができる

と、遷移沸騰を生じ易い位置は、燃料スペーサ29a, 29bの軸方向内部に含まれることになる。燃料スペーサ29a, 29bは普通中性子吸収の少ないジルコニウム合金で主に構成されているが、それでも中性子吸収および減速材の排除効果により、この部分の燃料棒5の発熱は燃料スペーサ29a, 29bの上下と比較すると有意に低下している。

【0053】従って、燃料棒表面の熱流速も小さいので、遷移沸騰は生じ難く、これにより、遷移沸騰を生じ易い燃料棒表面の液膜23の流れの状況の発生を、軸方向の燃料スペーサ内部まで遅らせることは限界出力の向上に寄与する。

【0054】なお、対角方向の切込み40をV字状にすると、燃料スペーサ29a, 29bの上流側25(下側)で管状フェルール39の端部に当たった流れは、図8において矢印で示したように、管状フェルール39の外側と内側、および管状フェルール39の切欠き17に沿って周方向に流れれる。この時に図9の管状フェルール39では、切欠き17の形状変化が管状フェルール39の側壁の外側で囲まれた、図6に示す流路19に流れを誘導しやすい、流路抵抗の小さい形状である。

【0055】図10の拡大斜視図は管状フェルールの第2変形例を示す。管状フェルール41は、上流側(下側)で突起14を有しない対角方向の下端で、突起14の突出量より小さく、燃料棒5の表面とは接しない程度に突出させた突起42を設けて構成されている。

【0056】また図11の拡大斜視図は管状フェルールの第3変形例を示す。この管状フェルール43は上流側(下側)の突起44を絞り込みにより形成している。これ等はいずれも対角方向の周端の外側にチャンファ32の加工をすることは第1の変形例と同様である。

【0057】これらの変形例においては、対角方向の燃料棒表面の流れは境界層が薄いので、速い流れを燃料棒5, 9と管状フェルール内側の環状流路22に誘導しないように効果的に流すのに適しており、外側のチャンファ32のみの場合より効果的である。

【0058】なお、上記の実施例では管状フェルールの形状として、図3に示すような円筒状を基本形状として説明してきたが、図12の要部拡大正面図に示すような8角筒の形状を基本とした管状フェルール45としたものでもよい。この例では燃料棒5, 9配列の直角方向の1側面に図3の管状フェルール30の場合と同様に縦長の切欠き17を設けて、その上下近傍にループバネ16を保持する爪部18を設ける。

【0059】また切欠き17を設けた側面に対峙した面の両側に隣接した側面の上下端には、夫々内側に突出した突起14を設ける。

【0060】なお、図12は上流側端面の平面図であるが、流路19を形成する上流側端部には外側のチャンファ32を加工し、他の部分には内側のチャンファを設ける。

また下流側は燃料棒5, 9の挿入を円滑に行うために、全ての端部を内側のチャンファ21とする。さらに、この形状においても円筒形における上記第1、第2、第3の変形例と同じ変形案が対角方向の上流側端部に施すことができる。

【0061】以上燃料スペーサ29a, 29bの格子形状については、燃料棒5, 9が9×9格子で2本ウォーターロッド6を例に説明したが、ウォーターロッド6の本数とか形状が異なっていても、また燃料棒5, 9が8×8格子のような他の形状であっても本発明の管状フェルールの適用ができる。

【0062】さらに、上記の実施例は正方格子の燃料棒配列の燃料スペーサについて説明したが、三角格子の燃料棒配列に対して、管状フェルールまたは六角筒フェルールを使用する場合においても、上流側端部に隣接する管状フェルールまたは六角筒と点溶接する周円または辺には内側のチャンファ21を設け、管状フェルールまたは六角筒の外側面で囲まれる流路を構成する周円、または辺には外側のチャンファ32を形成することによって容易に実現でき、その作用、効果は同様に得られる。

【0063】
【発明の効果】以上本発明によれば、燃料スペーサにおけるフェルールの構成に極めて簡易な工夫を施したことにより、燃料棒表面における冷却材の遷移沸騰が抑制されて、冷却材への熱伝達効率の向上と、燃料集合体における安全性および限界出力を向上する効果がある。

【図面の簡単な説明】
【図1】本発明に係る一実施例の燃料スペーサを適用した燃料集合体の縦断面図。

【図2】本発明に係る一実施例の燃料スペーサを適用した燃料集合体の断面図((a)は図1のA-A矢視断面図、(b)は図1のB-B矢視断面図)。

【図3】本発明に係る一実施例の燃料スペーサの管状フェルールの拡大斜視図。

【図4】本発明に係る一実施例の燃料スペーサの一部切断正面図。

【図5】本発明に係る一実施例の燃料棒と燃料スペーサの要部拡大図((a)は一部切断正面図、(b)は横断面図)。

【図6】本発明に係る一実施例の燃料スペーサの要部拡大平面図。

【図7】燃料集合体内の要部拡大模式図。
【図8】本発明に係る一実施例の燃料棒間の流路説明図((a)は直角方向、(b)は対角方向)。

【図9】本発明に係る管状フェルールの第1の変形例の拡大斜視図。

【図10】本発明に係る管状フェルールの第2の変形例の拡大斜視図。

【図11】本発明に係る管状フェルールの第3の変形例の拡大斜視図。

11

【図12】本発明に係る管状フェルールの第3の変形例の拡大斜視図。

【図13】従来燃料スペーサを適用した燃料集合体の縦断面図。

【図14】従来の燃料スペーサを適用した燃料集合体の断面図((a)は図13のA-A矢視断面図、(b)は図13のB-B矢視断面図)。

【図15】従来の管状フェルールの拡大斜視図。

【図16】流路要部拡大断面図。

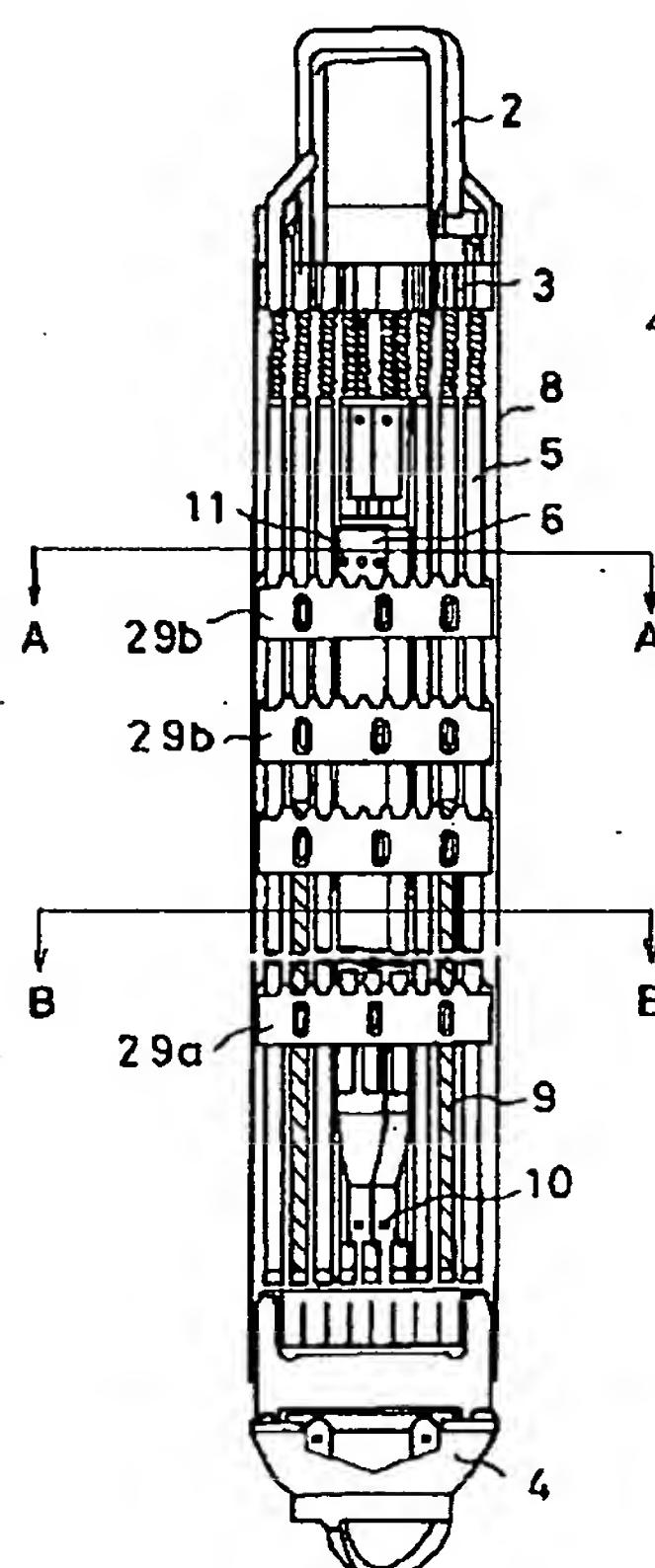
【図17】従来の燃料棒間の流路説明図((a)は直角方向、(b)は対角方向)。

【符号の説明】

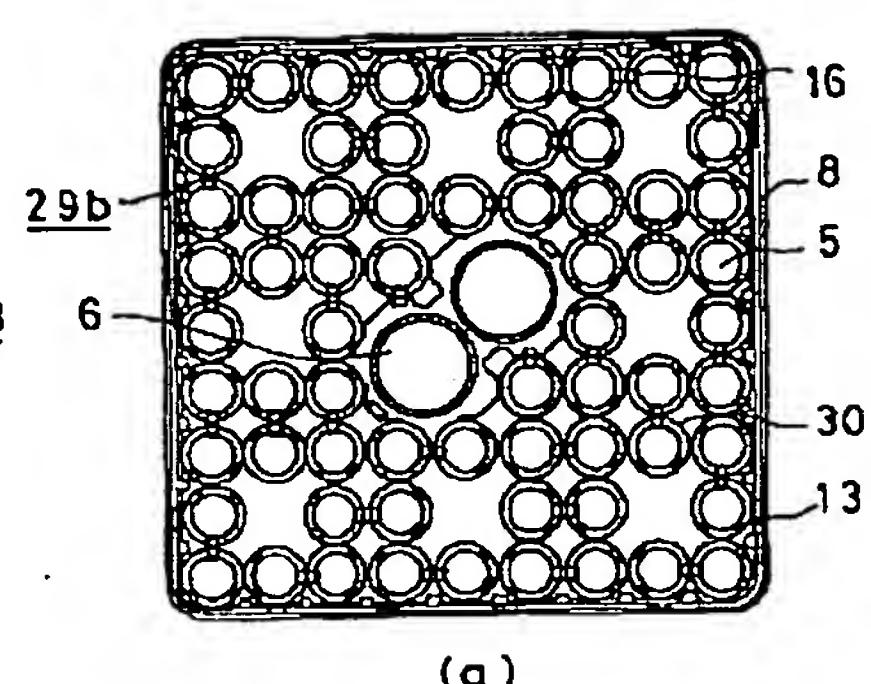
12

1, 28…燃料集合体、2…上部タイプレート、3…ハンドル、4…下部タイプレート、5…燃料棒、6…ウォーターロッド、7a, 7b, 29a, 29b…燃料スペーサ、8…チャンネルボックス、9…短尺燃料棒、10…冷却材流入口、11…冷却材流出口、12, 30, 39, 41, 43, 45…管状フェルール、13…周辺支持バンド、14, 42, 44…突起、15, 31…点溶接、16, 35…連続ループバネ、17…切り欠き部、18…爪部、19…流路、20…45°部位、21…内側チャンファ、22…環状流路、23…液膜、24…外側流路、25…上流側、26…液滴、27…下流側、32…外側チャンファ、33…孔部、34a, 34b…架橋部材、36…曲り部、37…突起板、38…ロープ、40…切込み。

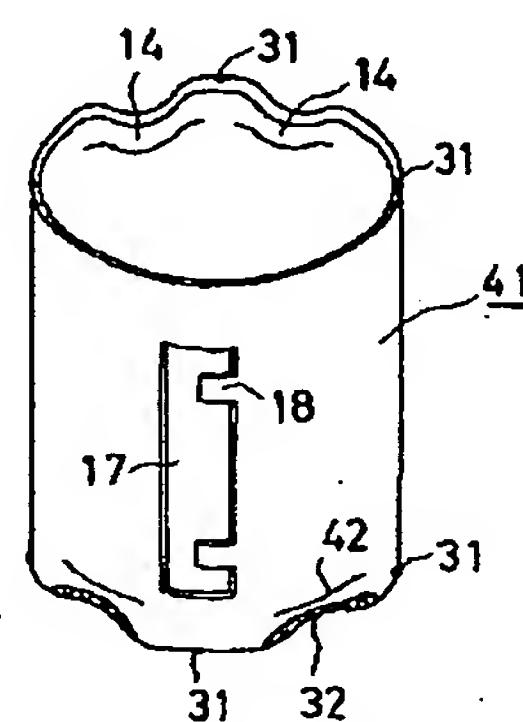
【図1】



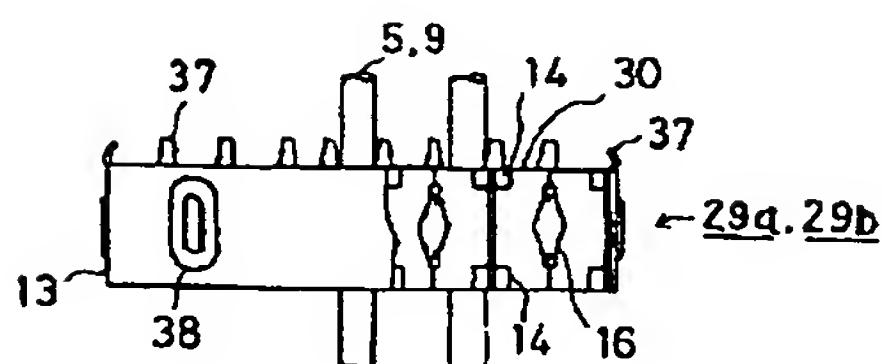
【図2】



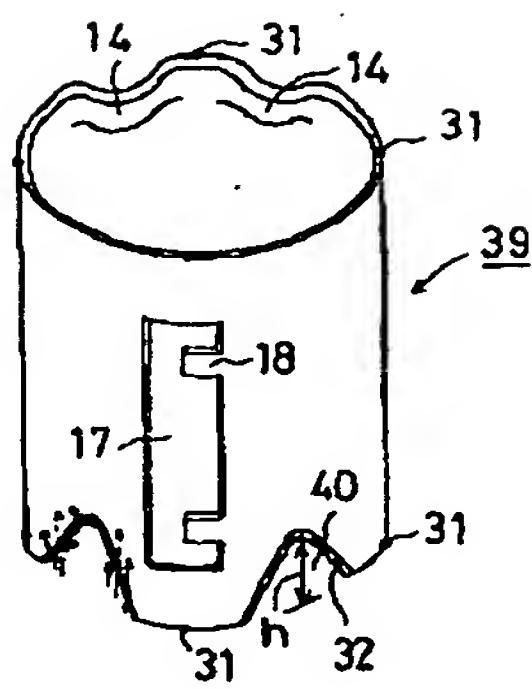
【図10】



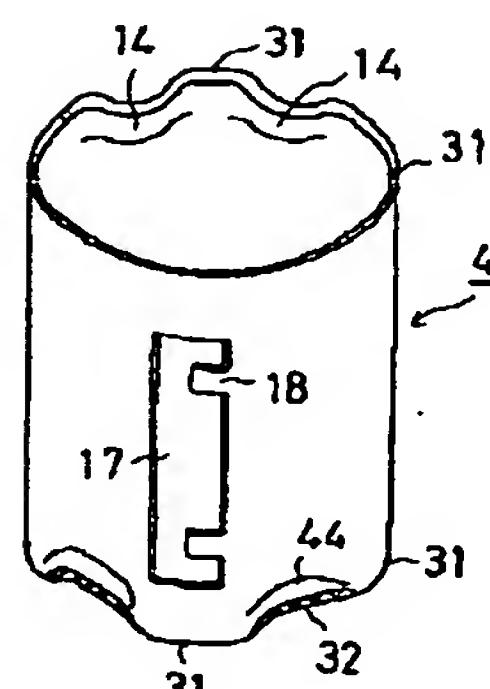
【図4】



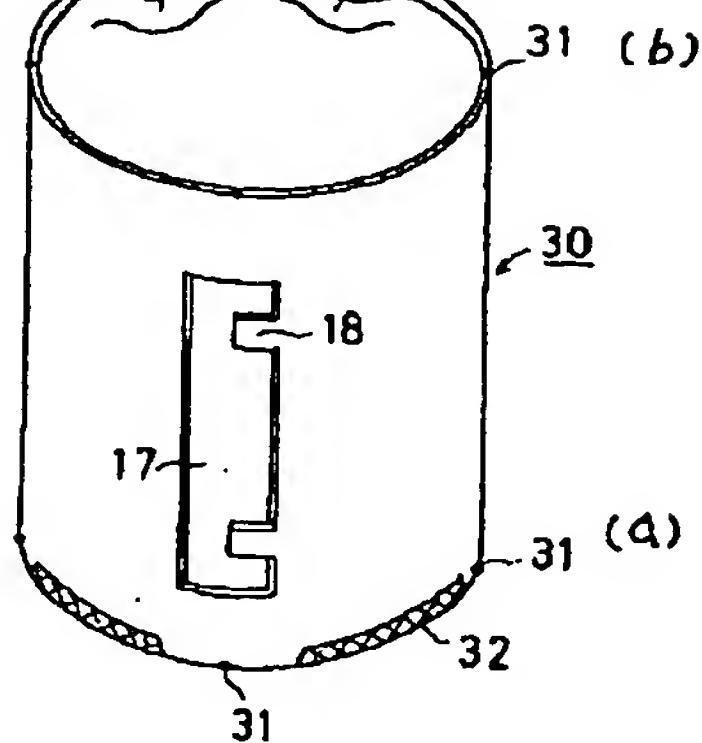
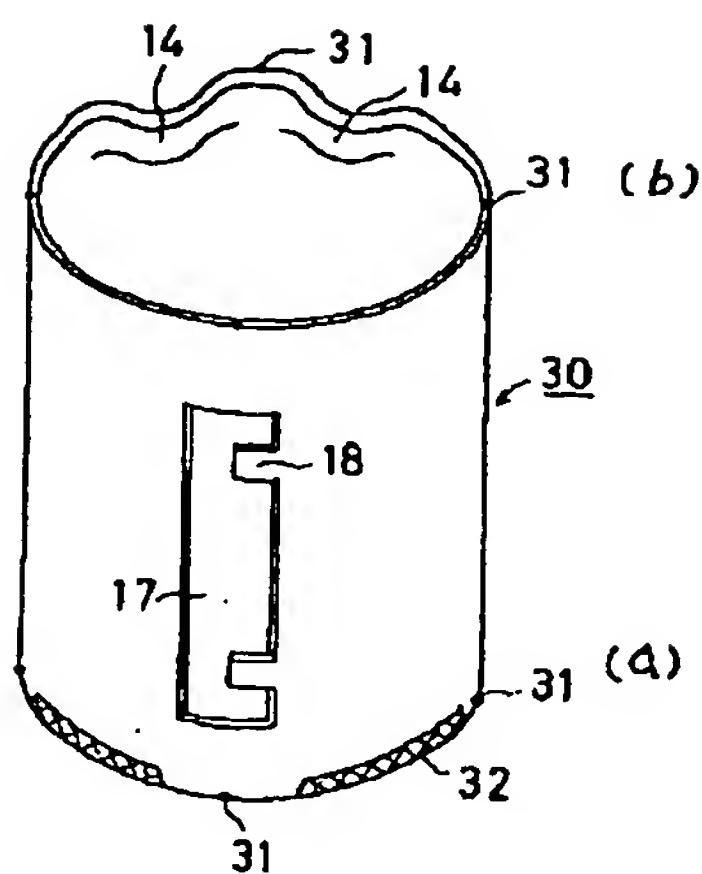
【図9】



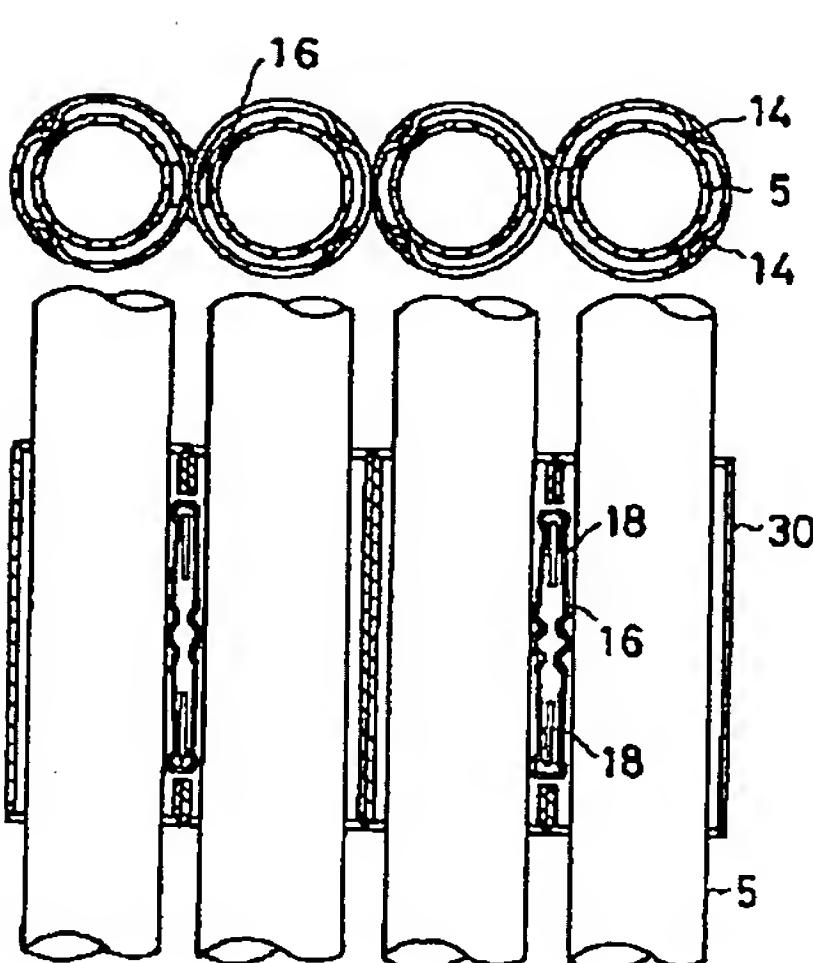
【図11】



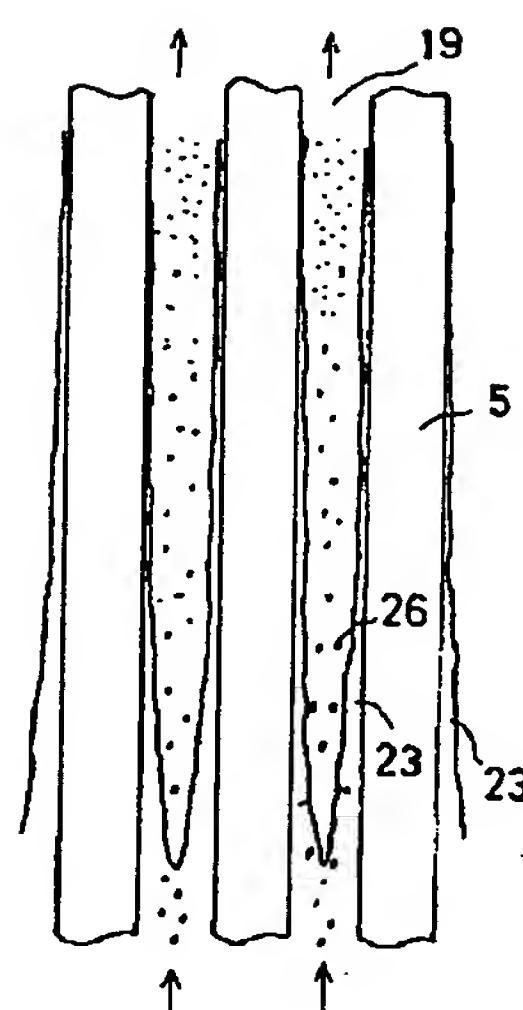
【図3】



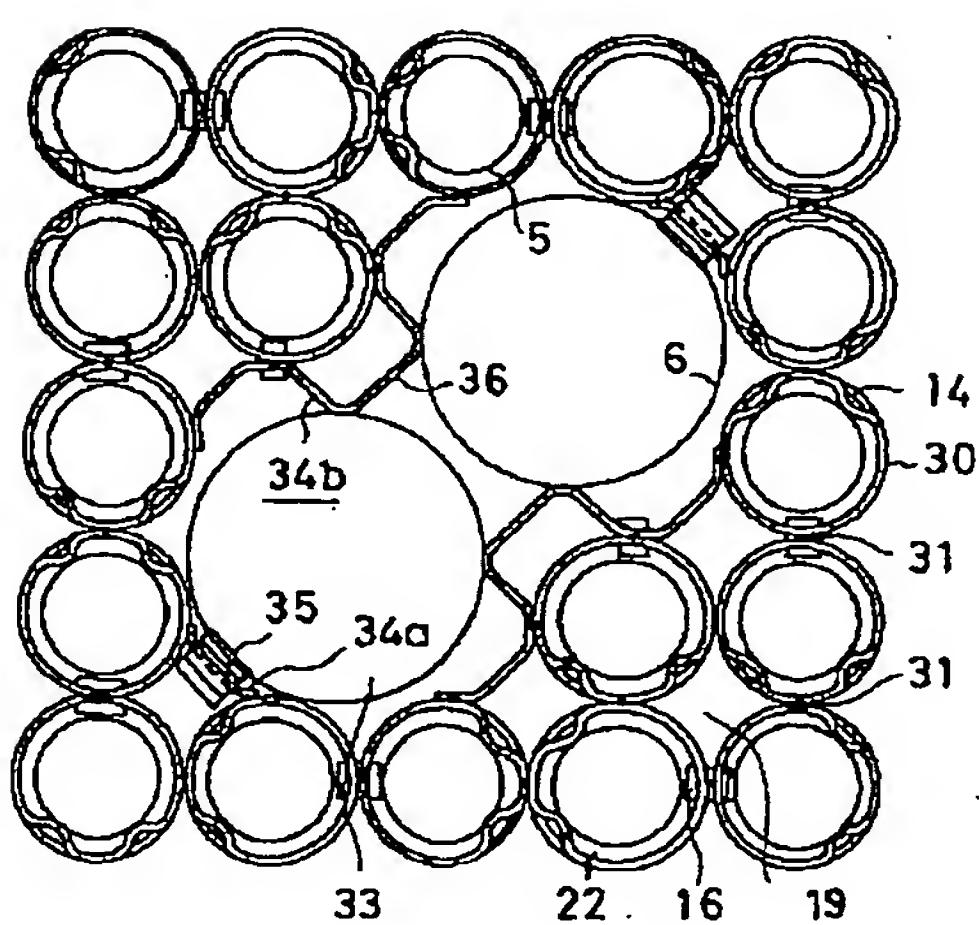
【図5】



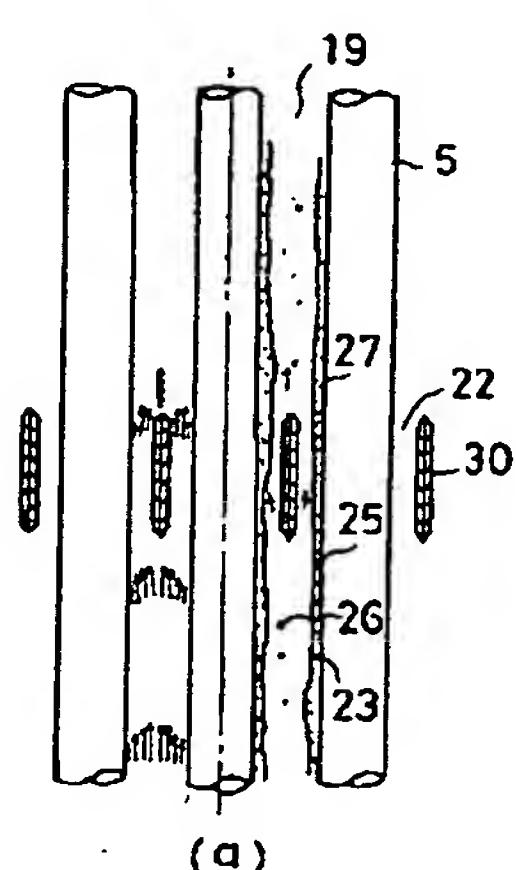
【図7】



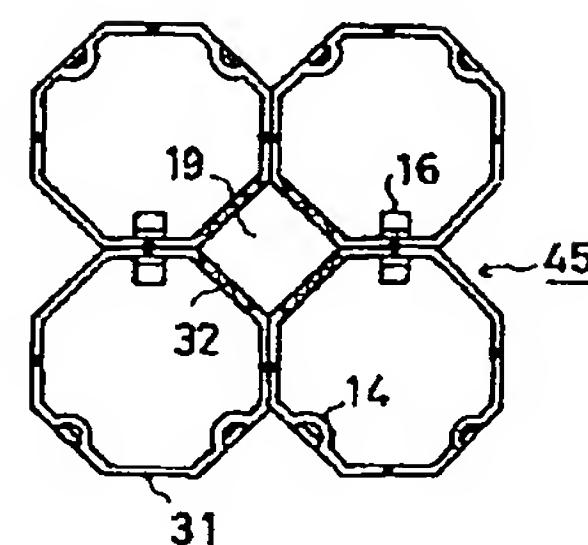
【図6】



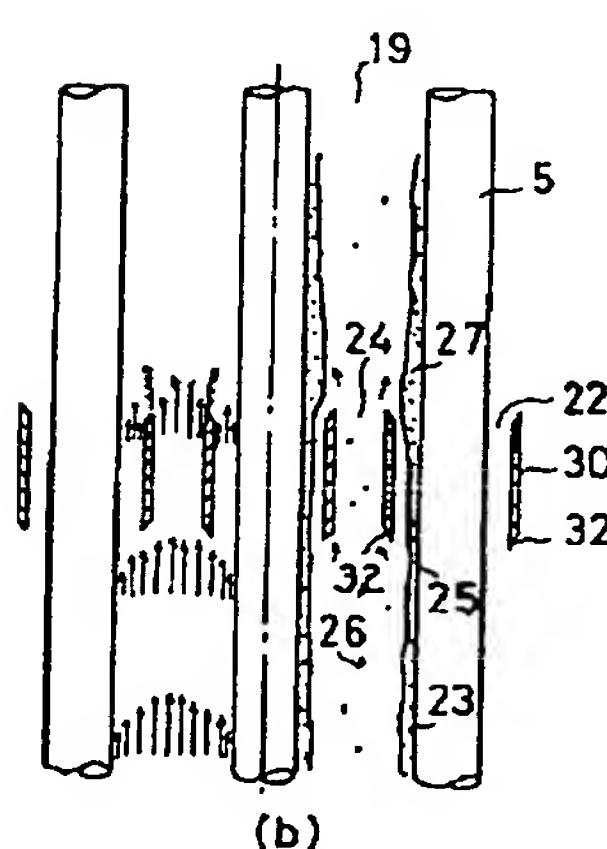
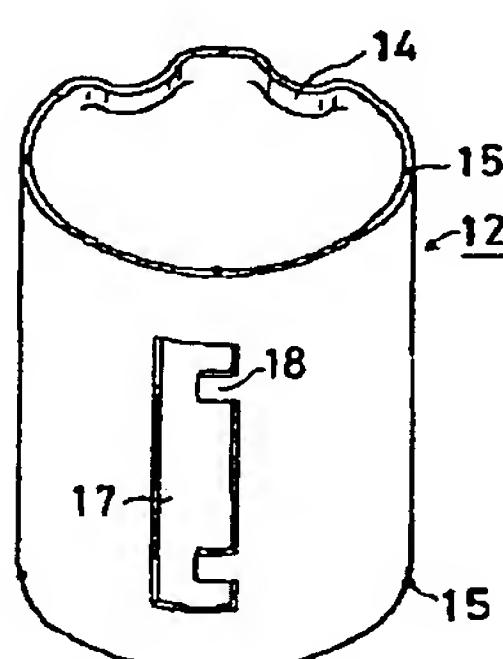
【図8】



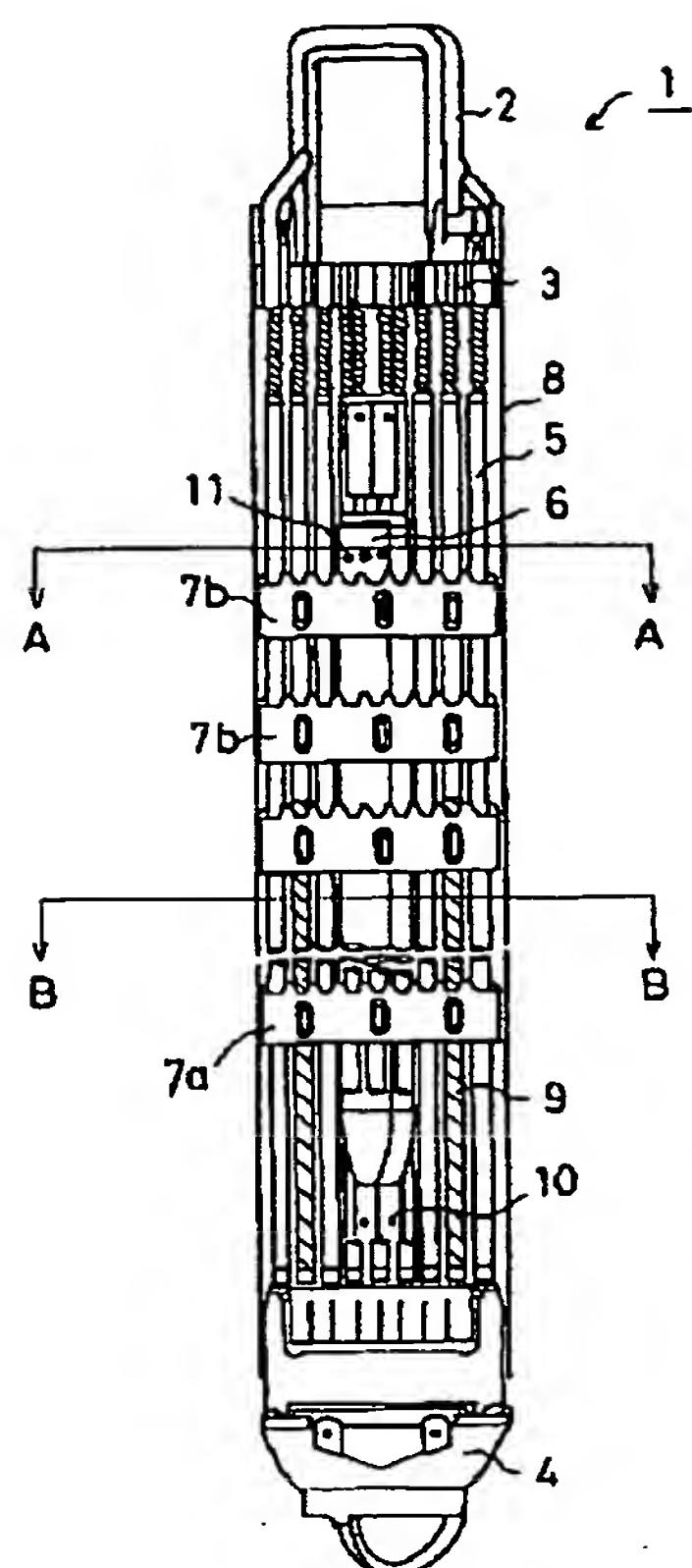
【図12】



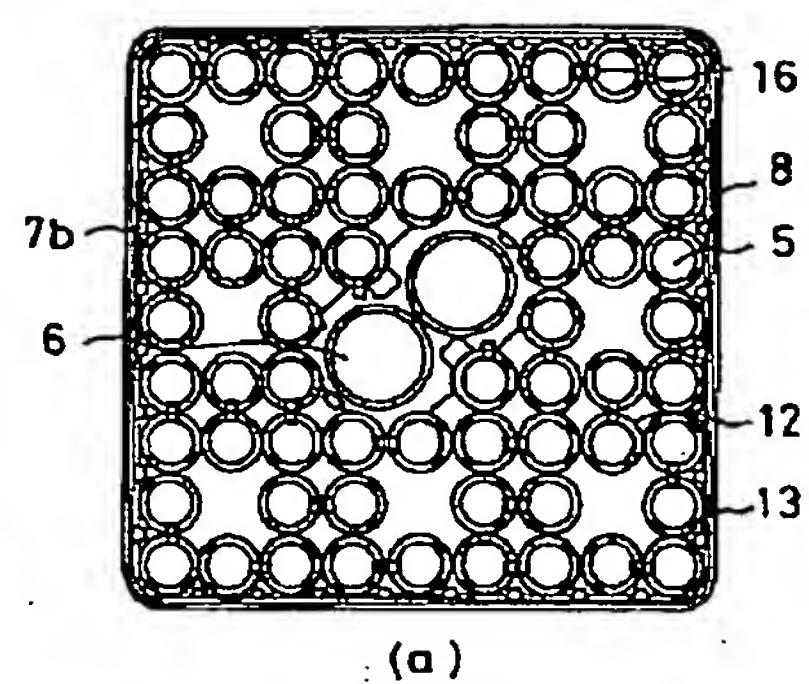
【図15】



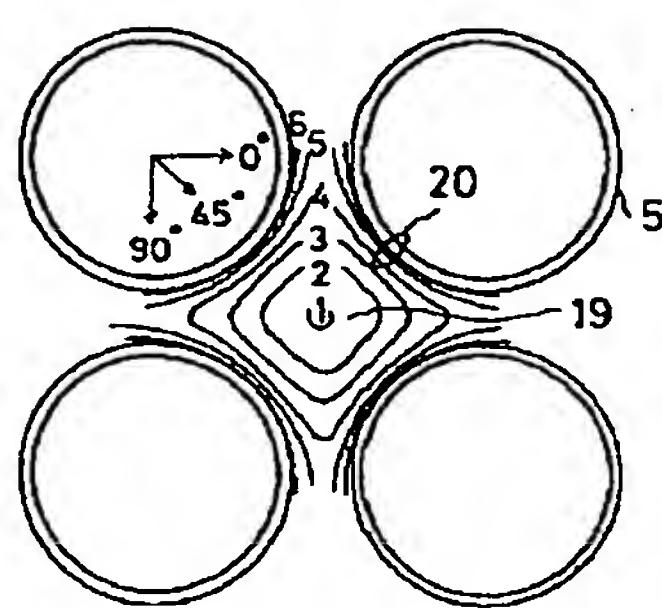
【図13】



【図14】



【図16】



【図17】

